Aus dem physiologischen Institut zu Rostock.

Über die elektrische Reizung des Herzens.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der

Medicin, Chirurgie und Geburtshülfe

der

hohen medicinischen Facultät der Universität Rostock

vorgelegt von

Alexander Fonrobert,
approb. Arzt.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Rostock.
Universitäts-Buchdruckerei von Adler's Erben.
1895.

Seinen teuren Eltern

in kindlicher Liebe gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553619_0020

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit dem Einflusse des elektrischen Stromes auf das Herz. So zahlreich auch die Versuche sind, die über diesen Gegenstand bereits angestellt worden sind, so giebt es doch noch eine Anzahl von unaufgeklärten Fragen, deren Beantwortung wünschenswert ist. Die Benutzung der elektrischen Reizung scheint besonders geeignet auf einen Gegenstand neues Licht zu werfen, der das Interesse der neueren Physiologie besonders in Anspruch genommen hat, nämlich auf die Controverse über den Sitz der automatischen Eigenschaft des Herzens.

So festgegründet die durch Bidder und Volkmann geschaffene Lehre von der Bedeutung der Herzganglien auch schien, so ist sie doch in der letzten Zeit erschüttert worden, und ihre Anhänger müssen neue Versuchsweisen ersinnen, um die alte Lehre zu stützen.

Viele Physiologen sind der Ansicht, dass die Automatie des Herzens dem Herzmuskel selbst zu verdanken sei; andere lassen wohl dessen Befähigung zur Rhythmicität gelten, postulieren aber doch Nervenzellen für den Antrieb zur Thätigkeit. Gering ist heute die Zahl derer, die Rhythmik und Automatie allein den Nervenzellen zuschreiben. Von einem

der Anhänger dieser letzteren Anschauungsweise ist neuerdings die von den meisten als fundamental anerkannte Eigenschaft des ganglienfreien Herzmuskels, auf Dauerreize zu rhythmischer Thätigkeit veranlasst zu werden, ganz und gar bestritten worden (Kaiser).

Gegen einen Teil seiner Ausführungen richtet sich eine Abteilung meiner Versuche. Ich glaube durch sie darthun zu können, dass in der That die elektrische Durchströmung des ganglienlosen Herzmuskels als ein konstanter Reiz wirkt, der rhythmische Zusammenziehungen zur Folge hat. Mehr nebensächlich behandelt der zweite Teil meiner Arbeit die von Biedermann hervorgehobenen polaren Wirkungen des auf das Herz applicierten Kettenstromes. Der dritte Teil endlich beschäftigt sich mit Warmblüterherzen, an denen der galvanische Strom Veränderungen hervorruft, die ohne Annahme von Ganglienzellen, die mit der Innervierung und Coordination des Herzmuskels betraut sind, schwer zu verstehen wären.

I.

Galvanische Reizung des Herzmuskels.

Die Grundlage der Ansicht, dass dem Herzmuskel rhythmische Eigenschaften zukommen, bilden in erster Reihe die Versuche von Eckhard[1]). Er teilt in seiner Abhandlung hierüber etwa Folgendes mit: „Leitet man einen constanten galvanischen Strom durch eine Herzspitze, so zeigt sich, dass, wenn die Stromdichte im Herzen so gross ist, dass beim Schluss der Kette eine Pulsation entsteht, von nun an das ganglienlose Stück rhythmisch in Pulsation verfällt. Die Anzahl der Pulsationen im geschlossenen Strom ist keine unbeschränkte, sondern je nach der Maassgabe der Stromdichte und des Ermüdungszustandes des Ventrikels hören die Pulsationen nach einer gewissen Anzahl von Schlägen auf. Ich habe jedoch nicht selten 20—30 gezählt. Ist das pulsierende Stück durch eine Anzahl von Schlägen im Kreis der Kette zur Ruhe gekommen, so genügt eine Berührung desselben mit der Nadelspitze, um wieder eine, wenn auch kleinere Reihe von Pulsationen auszulösen. Das Oeffnen der Kette löst nur eine einzige Pulsation aus.“

Von späteren Beobachtern, welche die Angaben Eckhard's im wesentlichen bestätigten und unter

[1]) Eckhard, Beiträge z. Anat. u. Physiol. I. S. 153, 1858.

Berücksichtigung von Richtung und Intensität des Stromes erweiterten, will ich nur Forster & Dew Smith[1]), v. Basch[2]) und Scherhey[3]) erwähnen. Da ihre ins Einzelne gehenden Beobachtungen indessen keine näheren Beziehungen zu meinem Gegenstande haben, kann ich sie hier übergehen. Indessen hätte man glauben dürfen, dass der von so verschiedenen Seiten gestützte Grundversuch Eckhard's dauernde Geltung haben und für diejenigen, die auf Grund anderer Beobachtungen dem Herzmuskel die Fähigkeit zuschreiben, auf Dauerreize in rhythmische Thätigkeit zu geraten, eine starke Stütze ihrer Ansicht sein würde.

Erst in neuester Zeit ist gegen diese Auffassung ein Widerspruch laut geworden. Kaiser[4]) nämlich, der bei Gelegenheit der Verteidigung seiner neuen Theorie der Herzthätigkeit auch auf den Eckhard-schen Versuch zu sprechen kommt, glaubt auf Grund einer langen Reihe mit grosser Sorgfalt ausgeführter Versuche annehmen zu müssen, dass die bei galvanischer Durchströmung eintretenden rhythmischen Bewegungen der ganglienfreien Herzspitze dadurch zu Stande kommen, dass der continuirliche Reiz, durch die Veränderungen, welche er am Herzen hervorruft, unterbrochen werde. Wir hätten es indessen in diesem Falle nicht mit im Innern des Herzens verlaufenden Vorgängen zu thun, sondern die Unter-

---

[1]) Forster & Dew Smith, Journal of anat. and physiol. 10. S. 737. 1876.

[2]) v. Basch, Ueber die Summation von Reizen durch das Herz. S. 62.

[3]) Scherhey, Archiv für Anat. u. Physiol., physiol. Abtheil. S. 259. 1880.

[4]) Kaiser, Untersuchung über die Ursache der Rhythmicität der Herzbewegungen. II. S. 284. Zeitschrift f. Biologie XXX. Bd. (N. F. Bd. XII.)

brechungen geschähen auf rein äusserlichem, künstlichem Wege, unter Bedingungen, die mit der natürlichen Rhythmicität der Herzbewegung nichts zu thun hätten.

Eckhard,[1]) welcher seiner Zeit schon sich denselben Einwurf gemacht hatte, glaubte denselben durch eine Versuchsanordnung, welche er folgendermassen schildert, vollständig zurückweisen zu können: „Für dieses vielleicht beim ersten Anblick nicht erwartete Verhalten entsteht nun aber die Frage: Ist dasselbe ein dem Herzmuskel eigentümliches Phänomen, und wie ist sein Zustandekommen zu denken, oder liegt in der mechanischen Anordnung des Experiments ein dasselbe erklärender Umstand? Ueberlegen wir die letztere, so könnte folgendes möglich erscheinen. Das Auftreten der in Rede stehenden Bewegungen bedarf eines verhältnismässig nur schwachen Reizes. Wenn nun mit dem Schluss der Kette eine Pulsation ausgelöst wird, so könnte man meinen, zieht sich anfangs der Ventrikel zusammen, löst also dadurch mehr oder weniger seine Verbindung mit den ihn berührenden Teilen des Kreises, so dass bei seinem Uebergange in Diastole jene wieder inniger wird, somit eine positive Stromesschwankung entsteht, und damit eine neue Ursache des Beginnes einer neuen Pulsation gegeben ist.*) Man hat Mittel, sich von der Unrichtigkeit dieser Voraussetzung zu überzeugen. Man stellt eine vielelementige Kette (6—8) her, in deren Kreis an einer Stelle das Herz und an einer anderen der Nerv eines Muskels eingeschaltet ist, und wendet sie in der Art an, dass man mit einem Element beginnt und suc-

---

[1]) Eckhard, a. a. O.

*) Anm. Offenbar läuft auch der freilich nicht ganz klar ausgesprochene Einwand Kaiser's auf dasselbe hinaus.

cessive fortschreitet. Dann zeigt sich, dass der Muskel schon bei Stromesschwankungen zuckt, bei welchen das Herz noch ruhig bleibt, weil bei den elektrischen Reizungsphänomenen nicht die Schwankungen der Stromstärke, sondern der Stromdichte in Betracht kommen, und in dem erwähnten Fall diese im Herzstück viel kleiner als im Nerv ausfällt. Hieraus ist zu schliessen, dass solche Schwankungen im Kettenkreis, welche an dem Ventrikelstück eine Pulsation auslösen, notwendig auch den Muskel müssen zum Zucken bringen. Fängt aber nach geschlossener Kette das Herz an zu pulsieren, so bleibt nichtsdestoweniger der Muskel in Ruhe und dies beweist, dass die einzelnen Pulsationen ihren Ursprung nicht dem oben erwähnten Umstande verdanken. Es ist also der auf gleicher Höhe verweilende Strom, welcher dem Ventrikel die in Rede stehende Eigenschaft erteilt."

Diesem anscheinend sehr beweisenden Versuche Eckhards stellt nun Kaiser[1]) ein von ihm angestelltes Experiment gegenüber, das er in folgender Weise schildert:

„Ich construierte mir durch Aufkitten zweier Glasstreifen auf ein Glaslineal eine 3 mm breite und 15 cm lange Rinne; an das eine Ende derselben wurde ein Halbring aus Glas angekittet, so dass die Rinne an diesem Ende durch ein kleines Bassin abgeschlossen war; das andere Ende blieb offen. Rinne und Bassin wurden mit 0,5 % Kochsalzlösung gefüllt. In das Bassin tauchte der negative (resp. positive) Pol einer aus 4 Daniell bestehenden constanten Batterie, der positive (resp. negative) Pol konnte in die Rinne getaucht und darin verschoben werden. Das ganze stellt also einen kleinen Flüssigkeitsrheostaten dar.

[1]) Kaiser, a. a. O. S. 286.

In das Bassin wurde zunächst das abgeschnittene untere Drittel eines Froschventrikels gebracht, vor (resp. hinter) diesem wurde dann ein mit dem Unterschenkel in Zusammenhang gelassener N. Ischiadicus über den Glasring gebrückt, so dass eine Strecke des Nerven sich in der Kochsalzlösung befand. Wurde nun der Strom durch Eintauchen des positiven (resp. negativen) Pols in die Rinne geschlossen, so beobachtete man, wenn die Schliessung in einem grösseren Abstand von dem Bassin erfolgte, zunächst nur eine Reaction von Seiten des Nervmuskelpräparates, indem bei Schliessung resp. bei Schliessung und Öffnung eine Zuckung in der Muskulatur des Unterschenkels auftrat. Wurde die Schliessung durch Eintauchen des Drahtes an einer dem Bassin näher gelegenen Stelle der Rinne bewirkt, so reagierte auch die Herzspitze durch Contraction auf den Schliessungsreiz. Blieb der Strom geschlossen, so folgten am Herzen auf die Schliessungszuckung entweder noch einige Contractionen, worauf Stillstand in Diastole folgte, oder das Herz blieb gleich nach der Schliessungszuckung in diastolischer Ruhe, zeigte also dem es durchfliessenden constanten Strom gegenüber keine Reaction. Während der nach Schluss der Kette auftretenden Pulsationen der Spitze blieb das Nervmuskelpräparat in Ruhe. Trotzdem lassen sich die Pulsationen des Herzens auf die geringen Stromesschwankungen des Herzens zurückführen, die in der Contraction und Erschlaffung des Muskels selbst ihre Ursache haben. Verharrt das Herz nach der Schliessungszuckung in Ruhe oder ist es nach einigen „selbständigen" Pulsen zur Ruhe gekommen, so kann man sofort wieder eine einzelne kräftige Contraction hervorrufen, wenn man den Draht in der Rinne etwas gegen das Bassin hin verschiebt, also durch Herab-

setzung des Widerstandes eine sehr geringe positive Stromesschwankung bewirkt. Auf das Nervmuskelpräparat bleibt diese Stromesschwankung ohne jede Wirkung."

Auf Grund dieser seiner Beobachtungen gelangt nun Kaiser[1]) zu folgenden Schlüssen:

1) Die Erregbarkeit der ganglienfreien Herzspitze ist für plötzlich von Null auf ein bestimmtes Maximum ansteigende, also sehr steile Stromesschwankungen geringer, als die des Nervmuskelpräparates.

2) Für sehr wenig steile, also langsam erfolgende Stromesschwankungen ist dagegen die Herzspitze wesentlich empfindlicher als das Nervmuskelpräparat, und zwar reagiert die Herzspitze auf um so geringere Schwankungen, je grösser die Intensität des Stromes ist, auf welche die Schwankungen aufgesetzt werden.

3) Die Erregbarkeit der Herzspitze wird also unter dem Einfluss eines sie durchfliessenden constanten Stromes erhöht, so zwar, dass wenn die Schwankungen von einer relativ hohen Intensitätsstufe aus erfolgen, nicht nur positive, sondern auch negative Schwankungen des Stromes einen genügenden Reiz für die Herzspitze bilden.

Wie aus diesen der Arbeit von Kaiser entnommenen Angaben hervorgeht, würden seiner Meinung nach die rhythmischen Pulsationen des ganglienfreien Herzmuskels beim Durchfliessen des constanten Stromes für die rhythmische Befähigung des Herzmuskels nicht das mindeste beweisen. Mir schien es angezeigt, die aufgeworfene Frage auch noch nach anderer Richtung hin zu erörtern, bevor ich mich entschloss, dem mir sehr wertvoll erscheinenden Versuche von Eckhard mit Kaiser alle Beweiskraft abzuerkennen.

[1]) Kaiser S. 20.

Zunächst überzeugte ich mich durch eine grössere Reihe von Vorversuchen, dass es leicht gelingt, sowohl an der abgeschnittenen wie an der nach Bernstein abgeklemmten Herzspitze des Frosches durch Hindurchleiten eines constanten galvanischen Stromes von einer gewissen Stromstärke an rhythmische, mehr oder weniger frequente, oft sehr zahlreiche Pulsationen zu erzielen. Es hiesse schon Bekanntes wiederholen, wollte ich hier näher darauf eingehen, den Einfluss der Stromesintensität und der Stromesrichtung auf die Erweckung der Spitzenpulse zu schildern. Meine Beobachtungen decken sich in den meisten Punkten mit denen der oben angeführten Autoren. Bezüglich der Methodik meiner Versuche wäre zu bemerken, dass die Zuleitung des Stromes mittelst unpolarisierbarer Pinselelektroden geschah, die mit einer meist vielgliedrigen galvanischen Kette in Verbindung standen. Quecksilberschlüssel, Stromwender und Stöpselrheostat im Nebenkreise vervollständigten den Reizapparat.

Mir schien es nun möglich, die Frage, ob wirklich, wie es den Anschein hat und wie Eckhard und viele andere meinten, der Herzmuskel die Eigenschaft hat, bei völlig constanter Durchströmung in rhythmisches Schlagen zu geraten, durch neue Experimente zur Entscheidung zu bringen. Im wesentlichen waren es drei Versuchsreihen, welche ich hierzu gewählt habe.

A.

Die erste Versuchsanordnung bestand darin, dass die abgeklemmte Herzspitze eines Frosches nicht direkt mit Elektroden in Berührung gebracht wurde, sondern in einer Flüssigkeit von verhältnismässig grossem Volumen suspendiert, mit dieser zugleich von parallelen Stromfäden durchsetzt wurde. Verstehe ich den Einwand Kaiser's dahin, dass durch die

durch den Stromschluss bewirkte Zusammenziehung des Herzmuskels eine Verschiebung der Elektroden und dadurch eine Dichtigkeitsschwankung des Stromes hervorgerufen werde, oder ist er so aufzufassen, dass die Formveränderungen des Herzens bei seiner ersten Contraction eine Widerstandsveränderung setzt, die zur Ursache einer zweiten Reizung wird, die zweite Zusammenziehung zur Ursache einer dritten u. s. f., so wird, wenn unter den von mir gewählten Bedingungen die Pulsationen nicht ausbleiben, jeder derartige Einwand zweifellos widerlegt. Denn eine Verschiebung der Elektroden ist ausgeschlossen, und eine merkliche Dichtigkeitsschwankung des Stromes infolge der Formveränderung eines durchströmten Muskels scheint mir ausgeschlossen zu sein, wenn der Muskel in einer Flüssigkeit von verhältnismässig grossem Volumen und nicht wesentlich abweichendem Leitungswiderstande schwebt. Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, stellte ich folgenden Versuch an. Ich benutzte eine Glaswanne von 10 cm Länge, 5 cm Tiefe und 5 cm Breite, an deren zwei gegenüberliegenden Schmalseiten Staniolblätter oder amalgamierte Zinkbleche eingesenkt waren. Von jeder dieser beiden Elektroden ging ein feiner Kupferdraht zum Rheostaten, welcher wiederum mit 8 kl. Tauchelementen in Verbindung stand. Die Öffnung der Wanne war mit einer Glasplatte bedeckt, in deren Mitte sich eine etwa pfenniggrosse Öffnung befand. Die Glaswanne wurde mit einer 0,6 % Kochsalzlösung gefüllt. Bei einem mit Curare vergifteten Frosch wurde das Herz vorsichtig freigelegt, die Spitze mit einer Klemme abgeklemmt und der Frosch derartig gelagert, dass die abgeklemmte Herzspitze durch das Fenster des Glasdeckels in die Kochsalzlösung hineinragte. Wurden nun im Rheostaten 5 Ω eingeschaltet und der Strom geschlossen, so konnte man an der

vorher in vollständiger Ruhe verharrenden Herzspitze 10 rhythmische Pulsationen sehen. Dieser Versuch wurde dann mit Einschaltung von 10 Ω, 50 Ω, 100 Ω und 1000 Ω wiederholt. An der Herzspitze traten jedesmal bei Schluss des Stromes zahlreiche Pulsationen ein und wurden dieselben bei 1000 Ω so stürmisch, dass sie nicht mehr gezählt werden konnten. Im übrigen kann man sich ferner sehr leicht überzeugen, dass auch die abgeschnittene Herzspitze im elektrischen Salzwasserbade dieselben rhythmischen Pulsationen zeigt, wie wenn ihr direkt unpolarisierbare Elektroden angelegt werden.

B.

In anderer Weise lassen sich dann die Einwände Kaiser's in folgender Weise widerlegen: Man schaltet in den die Herzspitze enthaltenden Stromkreis so grosse Widerstände ein, dass ihnen gegenüber alle Widerstandsschwankungen, die der Kreis durch die Formveränderungen des Herzens erfahren könnte, so winzig klein werden müssten, dass sie eine merkliche Wirkung nicht entfalten könnten. Um dieses zu thun, verfuhr ich in folgender Weise:

In den Stromkreis (8 kl. Tauchelemente) wurden aufgenommen ein Schlüssel, Stromwender, ein Stöpselrheostat von Hartmann und Braun, und unpolarisierbare Pinselelektroden. Ein Froschherz wurde freigelegt, die Spitze abgeschnitten und auf eine Glasplatte gelegt. Die möglichst fein zugespitzten Pinselelektroden wurden dann an die in vollständiger Ruhe bleibende Herzspitze gelegt und sämmtliche Rheostatwiderstände (11,110 Ohm) eingeschaltet. Wurde nun der Strom geschlossen, so begann die Herzspitze sofort rhythmisch zu pulsieren, und zwar zählte ich 26 solcher Pulsationen. Bei Öffnung des Stromes zog sich die inzwischen trotz der Fortdauer der

Durchströmung zum Stillstande gelangte Spitze nur einmal zusammen. Nachdem dann dem Herzmuskel eine Pause von 2 Minuten gegönnt worden war, wurde der Strom wiederum geschlossen, worauf noch 20 rhythmische Pulsationen erfolgten. Bei Öffnung des Stromes beobachtete man dann wieder nur eine Zuckung. Dieser Versuch wurde dann noch einige Male wiederholt. Der Erfolg war stets derselbe: bei Stromschluss eine Anzahl rhythmischer Pulsationen, bei Öffnung nur eine.

Die nächste Versuchsreihe, welche ich anstellte, war in derselben Weise angeordnet, wie der eben beschriebene Versuch, nur hatte ich, um bedeutend grössere Widerstände einschalten zu können, an Stelle des Stöpselrheostaten einen Flüssigkeitsrheostaten gesetzt, welchen ich mir in folgender Weise construierte: Eine genau 20 cm lange, Uförmig gebogene Glasröhre von 1 mm Durchmesser wird mit Zinksulfat gefüllt und die offenen Schenkel der Röhre mit Metallkapseln geschlossen. Durch die Metallkapseln sind amalgamierte Zinkdrähte hindurchgesteckt, welche in das Zinksulfat hineintauchen; der eine dieser Drähte ist fest, der andere verstellbar. Nachdem nun eine frischabgeschnittene Froschherzspitze auf eine Glasplatte gelegt und die Pinselelektroden gut angelegt waren, wurde der Strom unter Einschaltung dieses grossen Widerstandes geschlossen, worauf 10 rhythmische Pulsationen der Herzspitze erfolgten. Wurde der Strom geöffnet, zog sich die Herzspitze nur einmal zusammen. Der Versuch wurde dann nach etwa 5 Minuten wiederholt, bei

Stromschluss 7 Pulsationen, Öffnung 1.

Hierauf wurden 2 Elemente ausgeschaltet und der Versuch an derselben Herzspitze mit 6 Elementen wiederholt:

Stromschluss 3 Pulsationen, Öffnung 1.

Darauf wurden noch 2 Elemente ausgeschaltet:

Stromschluss 2 Pulsationen, Öffnung keine.

Zum Schlusse wurde noch einmal mit 8 Elementen gereizt, worauf die Herzspitze mit noch 4 Pulsationen reagierte. Nachdem derselbe Versuch am nächsten Tage an einer neuen Herzspitze mit demselben Resultate ausgeführt worden war, wurde der Widerstand des mit Zinksulfat gefüllten Röhrchens nach der Wheatstone'schen Brückenmethode bestimmt, und es ergab sich, dass derselbe etwa 45000—50000 Ohm betrug. Wären Widerstandsänderungen mit den Pulsationen der Spitze verbunden, so kämen sie diesem grösseren konstanten Widerstande gegenüber sicher nicht in Betracht und zur Geltung.

C.

Diese soeben mitgeteilten Versuche dürften bereits genügen, um die Behauptungen Kaiser's hinfällig zu machen, die Eckhard'schen dagegen zu stützen. Wenn nun weiter die Ansicht Kaiser's richtig sein sollte, dass der durch galvanische Durchströmung erregbarer gewordene Herzmuskel auf langsame Stromesschwankungen besser reagiere, wie der Nerv eines Nervenmuskelpräparates, so wird man doch nicht behaupten wollen, dass der Herzmuskel gegen solche Schwankungen empfindlicher sei, als der Nerv gegen rasche Schwankungen; denn neben dem Telephon kann das physiologische Froschschenkelpräparat als feinstes Reagens auf das Eintreten schneller Stromesschwankungen betrachtet werden. Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, wurden noch folgende zwei Experimente angestellt, in welchen versucht wurde, die supponierten langsamen Stromesschwankungen Kaiser's gewissermassen in rasche zu transformieren.

In einen Stromkreis (8 kl. Tauchelemente) wird ausser den schon oben erwähnten unpolarisierbaren Pinselelektroden und Du Bois Schlüssel, die primäre Rolle eines Inductionsapparates eingeschaltet; die sekundäre steht mit dem Nerven eines Nervmuskelpräparates in Verbindung. Nachdem nun die Elektroden an eine eben frisch abgeschnittene Froschherzspitze angelegt waren, wurde der Strom geschlossen. Sofort konnte man an der Herzspitze mehr denn 60 rhythmische, schnell auf einander folgende Pulsationen sehen, während das Nervmuskelpräparat, selbst bei übereinandergeschobenen Rollen nur bei Stromschluss und Öffnung je einmal zuckte. Wurden nun, während der Herzmuskel sich zusammenzieht und erschlafft, irgendwelche Widerstandsveränderungen im Stromkreise entstehen, so müssten, da derselbe bei dieser Versuchsanordnung gewissermassen die Stelle eines Mikrophons vertritt, dieselben sich dahin aussern, dass das Nervmuskelpräparat bei jeder Pulsation zuckt; doch hiervon ist, wie schon gesagt, nichts wahrzunehmen. Bei dem nächsten Versuch war dieselbe Anordnung wie in dem eben mitgeteilten, nur trat an Stelle des Nervmuskels ein Telephon. Wurde der Strom geschlossen, so hörte man zugleich mit Stromschluss im Telephon einen Ton; dann aber konnte man, trotzdem die Herzspitze pulsierte, auch nicht das geringste Geräusch im Telephon wahrnehmen. Mit Öffnung des Stromes hörte man dann wieder einen Ton.

Wenn die von Kaiser angenommenen Stromesschwankungen zu langsam sind, um ein Nervmuskelpräparat zu erregen, so sollten sie doch seiner Meinung nach schnell genug sein, um den Herzmuskel zu reizen. Sie müssten also auch zur Erzeugung von Induktionsströmen genügen, und diese hätten unbedingt das den langsamen Schwankungen gegen-

über unempfindliche Nervmuskelpräparat oder das Telephon heftig beeinflussen müssen.

Waren nun schon die zuerst angeführten Versuche hinreichend beweisend für die Unrichtigkeit der Angaben Kaiser's, dass nämlich nicht der constant wirkende, sondern der durch die Formveränderungen des Herzens unterbrochene Strom die ganglienfreie Herzspitze zum rhythmischen Schlagen bringen könne, so sind es ganz besonders die beiden zuletzt beschriebenen und glaube ich, damit einen Teil der mir gestellten Aufgabe gelöst zu haben.

II.

Galvanische Reizung des unversehrten Froschherzens.

Bei Gelegenheit der Versuchsreihen, über welche ich soeben berichtet habe, glaubte ich es nicht unterlassen zu dürfen, auch einige Experimente am unversehrten Froschherzen anzustellen, dessen Verhalten gegen Kettenströme wiederholt Gegenstand der Untersuchung gewesen ist. Ich habe hier nicht im Auge die Veränderungen der Frequenz, zunächst auch nicht die Hervorrufung ungeordneter Muskelthatigkeit, die oft als Folge der Durchströmung beschrieben worden ist, sondern in erster Linie die polaren Wirkungen des Stromes, die zuletzt Biedermann[1]) eingehend untersucht hat. Nachdem er nämlich am Schneckenherzen zahlreiche Versuche angestellt hatte, wandte er sich zu Froschherzen und berichtet über die Beobachtung, welche er bei Gelegenheit der Durchströmung des Froschherzens mit dem

[1]) W. Biedermann, Beiträge zur allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie XIV. Mitt. Über das Herz von Helix pomat. A. d. 89. Bd. d. Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. III. Abt. S. 30. Januar 1884.

Derselbe, Elektrophysiologie. I. Abt. S. 219. Januar 1895.

constanten Strom machte, etwa Folgendes: „Tritt der Strom durch die den Ventrikel berührende Elektrode ein, (während die andere Elektrode an die Kehlhaut angesetzt wird) und schliesst man im Beginne der Systole, so sieht man als erste Wirkung schwacher Reizung (1 Daniel, Rheochordwiderstand 20 und mehr) regelmässig eine Erschlaffung in der nächsten Umgebung der Berührungsstelle eintreten, die sich bei jeder neuen systolischen Zusammenziehung wiederholt, solange der Strom geschlossen bleibt. Mit wachsender Stromintensität nimmt auch der Grad und die Ausdehnung der anfangs streng lokalen, sich dann nur als ein kleiner roter Fleck von kaum 1 mm Durchmesser von der kontrahierten blassen Umgebung abhebenden Erschlaffung zu. Dieselbe tritt immer deutlicher als bluterfüllte Ausbauchung der Muskelwand des Ventrikels hervor und breitet sich dann verhältnismässig rasch nach allen Seiten über den Umfang der primär erschlafften Stelle aus."

An einer anderen Stelle derselben Abhandlung heisst es dann weiter: „Genau dieselben Erscheinungen, welche man an dem kontrahierten Ventrikel bei Schliessung eines Kettenstromes an Stelle der Anode beobachtet, treten unmittelbar nach Öffnung des Kreises an Stelle der Kathode hervor." Weiterhin weist Biedermann nach, dass die eigentlich erregenden Wirkungen des Stromes von der Kathode ausgehen. Reizte er nämlich mittelst der oben erwähnten unipolaren Methode, die nach Bernstein abgeklemmte Herzspitze, so erfolgte stets nur bei Berührung mit der Kathode eine Contraction, niemals im umgekehrten Falle. Aus diesen Versuchen Biedermann's geht also hervor, dass die Kathode auf den Herzmuskel erregend, die Anode dagegen hemmend einwirkt. Gelegentlich seiner Untersuchungen der galvanischen Durchströmung

des Säugetierherzens hat R. Neumann[1]) die Versuche Biedermann's z. T. wiederholt und bestätigt.

Ich selbst hatte öfters Gelegenheit mich von der Richtigkeit dieser Angaben zu überzeugen. Auch ich verwendete Pinselelektroden, die einen Strom von abzustufender Stärke entweder bipolar der Kammer des schlagenden Herzens eines curarisierten Frosches zuleiteten, oder von denen eine am Herzen, die andere an einer indifferenten Stelle des Körpers lag. In beiden Fällen war die Erscheinung dieselbe. Sobald der Strom geschlossen wurde, machte sich die Anodenwirkung derartig geltend, dass die Diastole in der Umgebung der Anode jedesmal früher eintrat, als an dem übrigen Ventrikel. Bei stärkeren Strömen sah ich ganz in derselben Weise, wie es Biedermann beschreibt, die lokale Erschlaffung von der Anode aus wellenartig weiter fortschreiten. Besonders günstig ist für diese Versuche die Benutzung abgekühlter Versuchstiere, deren Herz sehr langsam schlägt. Auch die Biedermann'schen Beobachtungen an der abgeklemmten Herzspitze habe ich wiederholt, und unter Bestätigung seiner Angaben nach einer gewissen Richtung hin erweitert. Wie er, so sah auch ich, dass bei schwachen Strömen nur die an der Spitze anliegende Kathode Contractionen hervorruft, während die Anode versagt. Verstärkt man aber die Ströme, so zeigte sich, dass auch, wenn die Anode der Herzspitze anlag, Contractionen hervorgerufen werden, doch ist die Anzahl derselben geringer als wenn die Kathode angelegt wird. Als Beispiel sei folgender Versuch angeführt:

In den Stromkreis (8 kl. Tauchelemente) sind aufgenommen ein Quecksilberschlüssel, Rheochord,

---

[1]) R. Neumann, Pflüger's Archiv für Physiologie. 39. 1886.

Stromwender und unpolarisierbare Pinselelektroden. Bei einem curarisierten Frosch, welcher 2 Tage auf Eis gelegen, wird durch einen Fensterschnitt das Herz freigelegt und die Spitze abgeklemmt. Hierauf werden die Pinselelektroden so angelegt, dass die eine möglichst fein zugespitzte mit der Herzspitze in Berührung bleibt, während die andere breit an die Kehlhaut gelegt wird.

Anode an Herz, Kathode an Kehlhaut. Rh.-Schieber 5 cm Platindraht:

Stromschluss = 0.	Öffnung = 0.
Kathode an Herz	Anode an Kehlhaut
Stromschluss = 1.	Öffnung = 0.

Rheochordschieber 20 cm.

Anode an Herz	Kathode an Kehlhaut
S = 1.	Ö = 0.
Kathode an Herz	Anode an Kehlhaut
S = 9.	Ö = 0.

Rheochordschieber 30 cm.

Anode an Herz	Kathode an Kehlhaut
S = 1.	Ö = 0.
Kathode an Herz	Anode an Kehlhaut
S = 9.	Ö = 0.

Rheochordschieber 100 cm.

Anode an Herz	Kathode an Kehlhaut
S = 14.	Ö = 0.
Kathode an Herz	Anode an Kehlhaut
S = über 20.	Ö = 0.

Rheochordschieber 50 + 1 Stöpsel:

Anode an Herz	Kathode an Kehlhaut
S = 30.	Ö = 0.
Kathode an Herz	Anode an Kehlhaut
S = über 40.	Ö = 0.

Eine weitere Frage war nun die, ob es auch gelingen werde, an dem, nicht in spontaner Weise

pulsierenden, sondern künstlich zur Pulsation angeregten Herzmuskel die Erscheinung der anodischen Erschlaffung wieder zu finden. Um diese Frage zu beantworten, bediente ich mich folgenden Verfahrens:

Die Herzspitze curarisierter Frösche wurde abgeklemmt und durch Auflegen von Kochsalzkryställchen zum rhythmischen Pulsieren gebracht. Wurde nun, während sie schlug, ein constanter Strom hindurchgeleitet, so war jedesmal, wenn die Anode ihr anlag und die Kathode sich an der Kehlhaut befand, die lokale Erschlaffung grade so deutlich zu sehen, wie am unversehrten schlagenden Herzen.

Meine nächste Aufgabe war es dann weiter, die Angaben Neumanns[1]) auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Er sagt nämlich in seiner Abhandlung, in welcher er die Wirkung des constanten Stromes auf das Froschherz und Säugetierherz vergleicht, etwa Folgendes:

„Die Reihenfolge der Erscheinungen ist am Froschherzen im wesentlichen dieselbe wie am Säugetierherzen, bei schwächeren Strömen Beschleunigung und Schwäche der Herzschläge, bei stärkeren Wogen statt des Pulsierens. Das bei stärkeren Strömen auftretende Wogen besitzt einen wesentlich anderen Charakter, als die entsprechende Erscheinung am Säugetierherzen, es erfolgt hauptsächlich in peristaltischen Wellen, welche in der Richtung des Stromes ablaufen.“ Weiter heisst es dann: „Während, wie wir gesehen haben, das Säugetierherz von einem durch wenige Elemente hervorgerufenen Wogen sich meist nicht mehr, und in günstigen Fällen erst nach energischem Massieren wieder erholt, beginnt das Froschherz nach Öffnung

[1]) R. Neumann. Pflüger's Archiv f. Physiol. 39, 1886.

der Wogen hervorrufenden Ströme, selbst wenn 18 Zinkkohlenelemente eingewirkt haben, stets wieder regelmässig zu pulsieren."

Indem ich auf Grund zahlreicher Versuche im wesentlichen die Angaben Neumanns bestätigen kann, so glaube ich doch auf eine Erscheinung aufmerksam machen zu müssen, deren Neumann keine Erwähnung thut. Es ist dieses nämlich eine ziemlich lange Pause, welche das Froschherz macht, ehe es rhythmisch weiter zu schlagen beginnt, sobald der es durchfliessende constante Strom geöffnet wird. Ob das Herz durch sein rasches Pulsieren dermassen ermüdet wird, dass es erst einer längeren Erholungspause bedarf, um seine Thätigkeit wieder aufnehmen zu können, oder ob es sich um ein Analogon der sog. „kompensatorischen Pause" handelt, in die Marey das Froschherz eintreten sah, nachdem er es durch interkurrente Reize zu Extrapulsen veranlasst hatte, oder ob wir es vielleicht mit einer hemmenden Wirkung des Öffnungsreizes zu thun haben, das wage ich ohne eingehendere Versuche nicht zu entscheiden.

Hiervon abgesehen, glaube ich eine neue, mir weit wichtiger scheinende Beobachtung gemacht zu haben. Wird nämlich das Froschherz mit ganz schwachen Strömen gereizt, dann wird seine Thätigkeit dahin geändert, dass es schneller zu schlagen beginnt, doch kann man bei genauem Zusehen beobachten, dass etwa jede 3. oder 4. Contraction sich von den übrigen insofern unterscheidet, als sie in Form einer peristaltischen Welle in der Richtung des Stromes abläuft.

Durch diese Erscheinung aufmerksam gemacht, stellte ich wiederholt denselben Versuch an und zwar stets mit ganz schwachen Strömen beginnend und zu stärkeren übergehend, und bin dann endlich zu dem

Schlusse gekommen, dass das scheinbare Wogen des Froschherzens durch Entstehen und Verschwinden, anodischer, sich wellenartig verbreitender Diastolen und deren Interferrenz mit der normalen Herzbewegung hervorgerufen wird. Es wäre demnach die durch den elektrischen Reiz hervorgerufene peristaltische Thätigkeit des Froschherzens, die, wie Bernstein zuerst gefunden hat, stets von der Anode zur Kathode verläuft, nichts anderes als die anodische Erschlaffungswelle und demnach von dem Wogen des Säugetierherzens durchaus verschieden. Mit diesem letzteren soll sich nun weiter der nächste Teil meiner Arbeit beschäftigen.

III.

Elektrische Reizung des Warmblüter-Herzens.

Die Untersuchungen derjenigen Beobachter, welche auf diesem Gebiete Versuche angestellt haben und von denen ich nur Ludwig & Hoffa[1]), Einbrodt[2]) und S. Mayer[3]) erwähnen möchte, haben bekanntlich gezeigt, dass sowohl durch den konstanten wie unterbrochenen Strom die Herzthätigkeit dahin geändert wird, dass die coordinierten regelmässigen Zusammenziehungen des Herzens in ein unregelmässiges, sehr rasches, wild durcheinander wogendes Zittern umgewandelt werden. So schreibt z. B. S. Mayer über seine Untersuchungen Folgendes:

---

[1]) Ludwig & Hoffa, Zeitschrift für rationelle Medicin, 1849, Bd. IX.

[2]) Einbrodt, Wiener Sitzungsberichte, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, 1859, Bd. 38, S. 344.

[3]) S. Mayer, Studien zur Physiol. des Herzens und der Blutgefässe. III. Abhandlung. Über die direkte elektrische Reizung des Säugetierherzens. Aus dem LXVIII. Bande der Sitzungsberichte der K. K. Akademie der Wissenschaften, III. Abteilung, Juli-Heft, Jahrgang 1873.

„Legt man bei einem Tier die Elektroden eines Inductionsapparates an das blosgelegte, kräftig und rasch schlagende Herz (der Herzbeutel war vorher eröffnet) an und schiebt man nun die sehr weit entfernte sekundäre Spirale des Apparates an die primäre langsam heran, so ist die erste Wirkung, die man beobachtet, wenn man seine Aufmerksamkeit auf die kymographische Curve richtet, die, dass der Blutdruck bei einer gewissen, durchaus nicht sehr bedeutenden Stromstärke plötzlich von seiner Höhe zu einem sehr niedrigen Werte heruntersinkt. War schon die in so hohem Grade den arteriellen Druck heruntersetzende Wirkung der direkten elektrischen Reizung des Herzens mit Inductionsströmen für den Beobachter in hohem Grade frappant, so gerät man noch mehr in Erstaunen, wenn man sieht, dass der Blutdruck in sehr vielen Fällen überhaupt nicht wieder Miene macht, in die Höhe zu gehen, dass die den Herzcontractionen entsprechenden Elevationen total aus der Curve verschwunden sind und ebenfalls sich nicht anschicken, wieder zu erscheinen, kurz, dass das Tier infolge der kaum 2—3" dauernden Reizung seines Herzens mit mittelstarken Inductionsströmen tot ist. Wendet man seine Aufmerksamkeit auf das Herz selbst, so bemerkt man an demselben, sobald die reizenden Ströme durch seine Substanz brechen, ebenfalls sehr merkwürdige Phänomene. Die rhythmischen Contractionen setzen sofort mit dem Beginn der Reizung aus, dagegen gerät die Herzmuskulatur in ein unregelmässiges, sehr rasches, wild durcheinander wogendes Zittern, welches die Franzosen mit einem sehr bezeichnenden Ausdruck als Frémissement ondulatoire beschreiben. In diesem Zustande, welcher zusammenfällt mit dem durch das Manometer angezeigten, andauernd sehr niedrigen Druck schwillt das Herz unter den Augen des

Beobachters an und zeigt sich stark von dunkelrotem Blut angefüllt."

Um zu zeigen, welchen Einfluss der constante Strom auf das Herz eines Säugetieres ausübt, bediente sich S. Mayer eines Grove'schen Elementes und schaltete, um die Stromstärke und Stromrichtung beliebig variieren zu können, zwischen das Element und die stromzuführenden Elektroden ein Du Bois-Sauerwald'sches Rheochord und einen Stromwender ein. Mayer kommt zu folgendem Resultat: „Wenn man den constanten Strom in das Herz „einschleicht", so ist stets die erste Wirkung, die an der kymographischen Curve zum Ausdruck kommt, ein Absinken des Blutdrucks. verbunden mit Unregelmässigkeit und Intermissionen des Herzschlages, die sowohl an der Blutdruckcurve, besser noch durch die direkte Inspection des blosgelegten Herzens sich zu erkennen geben. Bei noch sehr schwachem Strom kehrt alsbald mit dem Öffnen des Stromes der vorher bestandene Herzschlag und Blutdruck zurück. Mit zunehmender Verstärkung des Stromes zeigen diese Erscheinungen eine Verstärkung, bis endlich bei einer bestimmten Stromstärke die Wirkungen des constanten und der inducierten Ströme sich decken, d. h. auch der constante Strom jene schwere Störung in der Coordination und Leistungsfähigkeit der Herzcontractionen hervorruft, die wir oben für die inducierten Ströme geschildert haben."

Wie soll man sich nun diesen Zustand, in den das Herz durch den elektrischen Strom versetzt wird, erklären? Ist es der Herzmuskel selbst oder sind es seine nervösen Apparate, welche entweder gereizt oder gehemmt, diese eigentümliche Erscheinung hervorrufen? Aus dem eben mitgeteilten lässt sich überhaupt noch nicht eine Erklärung für die aufgeworfene Frage geben, doch scheinen mancherlei

Beobachtungen für die Beteiligung der nervösen Apparate zu sprechen: dahin gehört der Befund von Kronecker u. Schmey[1]), die nach Verletzung einer kleinen noch nicht näher umgrenzten Stelle an der unteren Grenze des oberen Drittels der Kammerscheidewand ähnliche fibrilläre Bewegungen des Herzens beobachteten und daraus auf die Existenz eines Coordinationscentrums des Herzens schlossen. Auch verschiedene andere Verfahren, durch die man ein Wogen des Herzens hervorrufen kann, deuten auf eine Beteiligung nervöser Apparate. So vor allem die Beobachtungen, die Aubert und Dehn[2]) über den Einfluss der Kalivergiftung auf die Herzthätigkeit gemacht haben. Diese Autoren haben das von ihnen dabei beobachtete Wogen des Herzmuskels, das dem galvanischen Wogen in hohem Maasse ähnlich ist, geradezu als eine Ataxie des Herzens bezeichnet, die durch Beeinflussung eines intracordialen Coordinationscentrums bedingt werde. Endlich sind, wie mir scheint, auch die zahlreichen Angaben über den Eintritt jener uncoordinierten Herzthätigkeit nach Abklemmung der Coronararterien, auf mechanische Reizung nervöser Elemente zu beziehen. Auch Neumann,[3]) der sich im Königsberger physiologischen Institut mit der galvanischen Reizung des Säugetier-Herzens beschäftigt hatte, gelangte zu der Ansicht, dass bei der Erscheinung des Wogens die gangliösen Elemente des Herzens beteiligt seien, und er scheint mir einen sehr glücklichen Ausdruck dafür gefunden zu haben, wenn er schreibt: „Das eigentliche Wogen und Wühlen ist eine, wie es scheint, dem Warmblüterherzen allein eigene Phase in der

[1]) Kronecker und Schmey, Sitzungsber. der Berliner Akademie, Physikal.-math. Classe, 1884, S. 87—89.

[2]) Aubert u. Dehn, Pflügers Archiv, Bd. IX, S. 115.

[3]) Neumann, a. a. O. S. 413.

Verrichtung der normalen Funktion der Ganglienzellen, ein Zustand, in welchem die normale periodische und coordinierte Thätigkeit in einen regellosen Innervationssturm übergeht."

Ich versuchte die Frage, ob das elektrische Wogen des Herzens muskulären oder nervösen Ursprungs sei, durch verschiedene Versuchsanordnungen zu lösen. Einmal habe ich zu entscheiden versucht, ob die Spitze des Warmblüterherzens, die bekanntlich, wie beim Frosch ganglienfrei ist, überhaupt in's Wogen geraten kann; dann suchte ich am unversehrten Herzen den elektrischen Reiz so zu lokalisieren, dass er nur ganglienfreie Muskulatur treffen konnte.

A.

Was die erste Versuchsreihe betrifft, so war dieselbe in folgender Weise angeordnet: Zwischen 1 Daniell-Element und die stromzuführenden unpolarisierbaren Pinselelektroden sind eingeschaltet ein Schlüssel, Stromwender und Rheochord. Ein mittelgrosses Kaninchen, welches bereits zu anderen Versuchen verwendet worden, und daher schon mehrere Stunden lang mit Chloralhydrat tief narkotisiert war, wurde tracheotomiert. Unter künstlicher Athmung wurde der Thorax eröffnet und nachdem der Herzbeutel vorsichtig aufgeschlitzt, das Herz ohne irgendwelche nennenswerte Blutung freigelegt. Sobald die Pinselelektroden an dasselbe angelegt waren und der Strom (Rheochord 50 cm Schieber und 1 Stöpsel) geschlossen wurde, trat an Stelle der zwar schnellen aber rhythmischen Pulsationen ein lebhaftes Wogen des Herzens ein, welches die Öffnung des Stromes überdauerte und selbst durch energische Massage nicht zum Pulsieren gebracht werden konnte. Von diesem wogenden

Herzen wurde jetzt schnell die Spitze mit der Scheere abgeschnitten; sofort hörte dieselbe auf zu wogen, und machte zwischen den Fingern mit denen sie herausgenommen wurde, mehrere geordnete Contractionen. Wurden, nachdem diese offenbar durch den Durchschneidungsreiz hervorgerufenen Pulsationen erloschen waren, die Elektroden wieder angelegt, und der Strom geschlossen, so trat bei jeder Schliessung und Öffnung nur je eine Contraction ein. Wurde der Strom verstärkt (Rheochord 50 cm und alle Stöpsel), so konnte man 12 durchaus rhythmische Contractionen der Spitze beobachten. Die Intensität des Stromes, mit dem dieses erreicht wurde, und noch mehr seine Dichte war viel grösser als diejenige des Stromes, mit dem vorher am ganzen Herzen das Wogen hervorgerufen wurde.

Zum nächsten Versuch diente ebenfalls ein mittelgrosses Kaninchen, welches durch einen Schlag auf den Kopf betäubt, und dessen Herz dann ebenfalls ohne Blutung freigelegt wurde. An Stelle des constanten Stromes bediente ich mich des unterbrochenen, womit das Herz gleichfalls zum Wogen gebracht wurde. Nachdem dasselbe dann schnell herausgeschnitten worden war, wogte es weiter. Hierauf wurde die Spitze abgeschnitten, welche augenblicklich still stand, während der übrige Herzstumpf zu wogen fortfuhr. Wurde die Spitze gereizt, so traten auch diesmal wieder, selbst wenn die Ströme bedeutend stärker waren, als diejenigen mit denen am ganzen Herzen das Wogen hervorgebracht wurde, nur geordnete rhythmische Contractionen ein.

Da mir ausser Kaninchen auch Tauben zur Verfügung standen, so stellte ich auch einige Versuche an Taubenherzen an und möchte wenigstens über einen solchen Versuch berichten.

Eine etwa 14 Tage alte Taube wurde mit Aether betäubt, tracheotomiert und deren Herz unter künstlicher Athmung freigelegt. Das sehr schnell pulsierende Herz wurde auf Reizung mit 8 kl. Tauchelementen, Rheochord-50 cm.-Schieberstellung garnicht merklich beeinflusst. Erst wenn noch die ersten 4 Stöpsel im Rheochord entfernt wurden, geriet dasselbe in ein lebhaftes Wogen, welches über die Dauer des Stromes anhielt. In demselben Augenblicke, in dem es herausgeschnitten wurde, stand es still. Wurde nun die Spitze abgeschnitten und mit dem Strom gereizt, so zog sie sich sechsmal rhythmisch zusammen.

Weiter nun geleitet von dem Gedanken, die Wirkung der elektrischen Reize sowohl auf die ganglienfreie Herzspitze als auch auf den Herzstumpf beobachten zu können, ohne dieselben in ihrer Verbindung vollständig zu trennen, versuchte ich in derselben Weise wie am Froschherzen, am Säugetierherzen die Spitze abzuklemmen. Nachdem bei einem mittelgrossen Kaninchen in Narkose das Herz freigelegt war, legte ich unterhalb der Mitte des Herzens eine starke, schmale Schlauchklemme an, welche eine Zeit lang zum festen Schluss gebracht wurde. Sobald die Klemme entfernt war, sah man den Herzstumpf, wenn auch langsamer, so doch rhythmisch pulsieren, während die Spitze in vollständiger Ruhe verharrte. An der Abklemmungsstelle war eine ringförmige, subepicardiale Blutung zu sehen. Jeder mechanische Reiz der Herzspitze hatte nun sofort eine Contraction derselben zur Folge und zwar zogen sich, selbst bei der geringsten Berührung eines Ventrikels, stets beide gleichzeitig zusammen. Tetanisierung des Herzstumpfes oder der Herzohren bewirkte sofort lebhaftes Wogen des Herzstumpfes, ohne Beteiligung der Spitze, während durch dieselben Ströme, ja selbst noch durch viel stärkere, die Herzspitze

höchstens zu sehr frequentem Schlagen gebracht wurde. Dem Herzen wurde dann eine längere Pause gegönnt, während welcher die Spitze in Ruhe verblieb, der Herzstumpf dagegen weiter pulsierte. Wurde dann wieder gereizt, so wiederholte sich das Spiel von vorher. Auch weitere, hier nicht näher anzuführende Versuche ergaben das Resultat, dass die isolierte Spitze des Warmblüterherzens weder durch den Kettenstrom noch durch Tetanisierung zum Wogen gebracht werden kann. Bei sehr starken Strömen war allerdings anfangs die Frequenz der Spitzenpulse unter gleichzeitiger Ausbildung eines tetanoiden Zustandes so hoch, dass man zuweilen im Zweifel sein konnte, ob der Muskel nicht wirklich wogte. Jedoch ging dieser, immerhin fragliche Zustand bei weiterer Fortdauer der Durchströmung stets in rhythmisches Pulsieren über und niemals sah man, wie beim ganglienhaltigen Herzen, das Wogen die Reizung überdauern. Nebenbei sei bemerkt, dass diese, die Durchströmung lange überdauernden Wirkungen an sich schon sehr zu Gunsten einer Beteiligung von Ganglienzellen sprechen, von denen es ja bekannt ist, dass sie kurz dauernde Reize mit langanhaltender Thätigkeit zu beantworten pflegen.

Da es mir ferner nicht ohne Wert schien, sowohl das Wogen des ganzen Herzens als auch das rhythmische Pulsieren der abgeschnittenen Herzspitze graphisch darzustellen, so verfuhr ich in folgender Weise: An einer Ludwig'schen Kymographiontrommel wurde eine Stativstange angebracht, auf welcher eine verstellbare Spiegelglasplatte befestigt war. In der Mitte derselben wurde ein etwa $^1/_2$ cm breiter Streifen des Spiegels entfernt, so dass dieser Streifen aus reinem Glase bestand. Je einer dieser Beläge wurde mittels einer Klemmschraube durch einen feinen

Draht mit einem Du Bois-Schlüssel verbunden. Vom Schlüssel gehen 2 Drähte zu den Schrauben der sekundären Rolle eines Inductionsapparates; die primäre Rolle stand mit 2 kl. Tauchelementen und einem Schlüssel in Verbindung. An der Stativstange ist ferner ein stellbarer Fühlhebel angebracht, welcher die Bewegungen des Herzens auf eine rotirende Trommel schreiben soll. Um eine gute Anlage am Herzen zu schaffen, wurde der Schreibhebel mit einer leichten Korkpelotte versehen, welche auf dem Herzen ruhte. Damit endlich das Herz nicht direkt auf die Spiegelstücke zu liegen kam, wurden dieselben mit kleinen Schildern von Kochsalzthon bedeckt, der mit 0,6 % Kochsalzlösung angeknetet war.

Ein etwa 6 Wochen altes Kaninchen wurde durch einen Schlag auf den Kopf betäubt, das Herz nach Eröffnung der Brusthöhle herausgeschnitten und auf die Thonplatten gelegt. Sobald die Korkpelotte dem Herzen gut anlag, wurde die Trommel in Bewegung gesetzt und der Schreibhebel zeichnete zuerst die normalen Herzpulse auf. Hierauf wurde das Herz gereizt (Rollenabstand 8), sofort trat Wogen ein, welches der Hebel registrierte. Wurde dann die Spitze abgeschnitten und mit Strommaximum gereizt, so wurden durch den Hebel die rhythmischen Spitzencontractionen verzeichnet. In wiederholten Versuchen gelang es auf diese Weise, die oben geschilderten Erscheinungen auf das deutlichste objektiv darzustellen.

B.

Zum Schlusse versuchte ich, unter Benutzung der von Kühne eingeführten unipolaren Methode den elektrischen Reiz so zu lokalisieren, dass nur die ganglienfreie Muskulatur getroffen wurde. Die Anordnung war folgende:

3 kl. Tauchelemente standen mit der primären Rolle eines Inductionsapparates in Verbindung. Die eine Klemmschraube der sekundären Rolle wurde mit einem Gasarme verbunden und leitete zur Erde ab, während die andere mit einem Metallcylinder in Verbindung stand. Ein Kaninchen, welches mit Äther betäubt war, wurde auf ein durch starke Glasplatten völlig isoliertes Kaninchenbrett festgebunden und ihm nach Eröffnung des Brustkorbes das Herz so freigelegt, dass es auf dem gespaltenen, an die Brustwand angenähten Herzbeutel, wie auf einer Unterlage ruhte. Hierauf wird dem Kaninchen der vorher erwähnte Metallcylinder in den Anus geschoben und bei spielendem Hammer des Schlittenapparates, mit einer knopfförmigen Metallsonde das ganze Herz abgetastet. Selbst bei übereinander geschobenen Rollen war höchstens eine geringe Veränderung des Rhythmus, doch niemals ein Wogen des Herzens hervorzurufen. Es ist bekannt, dass bei der in dieser Weise angewandten unipolaren Reizung nur diejenigen Elemente erregt werden, welche die ableitende Sonde berührt, und dass Wirkungen in die Tiefe dabei gänzlich ausgeschlossen sind. Offenbar wurden bei diesem Versuch nur Muskelfasern, niemals Nervenzellen gereizt, und deshalb musste das Wogen ausbleiben.

Schlussfolgerungen.

Die Schlüsse, welche ich auf Grund aller meiner Versuche glaube ziehen zu dürfen, sind nun folgende:

1) Der ganglienlose Herzmuskel des Warm- und Kaltblüters besitzt die Fähigkeit, auf Einwirkung des constanten elektrischen Stromes rhythmisch zu pulsieren.

2) Bei der Herzspitze des Frosches geht die Erregung von der Kathode aus; an der Anode stellt sich bei pulsierender Spitze, sowie bei dem ganzen Herzen eine lokale, bei Verstärkung des Stromes sich weiter verbreitende Erschlaffung ein.

3) Das peristaltische Wogen des Froschherzens bei galvanischer Durchströmung ist mit dem Wogen des Warmblüterherzens nicht zu vergleichen, sondern beruht auf einer Combination der von der Anode her ablaufenden Erschlaffung und der beschleunigten Pulsfrequenz.

4) Das elektrische Wogen des Warmblüterherzens beruht auf einer Beeinflussung der Herzganglien.

Zum Schlusse sei es mir noch gestattet, an dieser Stelle die angenehme Pflicht zu erfüllen, Herrn Prof. Dr. Langendorff für die Anregung zu dieser Arbeit und für seine gütige Unterstützung bei Anfertigung derselben meinen innigsten Dank auszusprechen.